

Makalah Seminar Tugas Akhir

Perancangan Sensor Gyroscope dan Accelerometer Untuk Menentukan Sudut dan Jarak

Ruslan Gani^[1], Wahyudi, S.T, M.T^[2], Iwan Setiawan, S.T, M.T^[2]

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak

Currently, determining the exact position and orientation in a technical system has an important role, especially in terms of control on a navigation system. Of the instruments used in navigation systems is the Inertial Measurement Unit (IMU). The IMU consists of a combination of the acceleration sensor (accelerometer) and the angular sensor (gyroscope) to track the whereabouts and movement of an object.

In this final step is to design and manufacture of gyroscope and accelerometer sensors to determine angles and distances based on ATmega32 microcontroller to detect the rotation angle and position of objects. The data is obtained from the integral point of the gyroscope output signal in the form of angular velocity and accelerometer output in the form of the acceleration signal. Data from both these sensors are then displayed via computer with the program through a wireless RF c # YS-1020UA.

Based on the results of research conducted on all three axis gyroscope axis to clockwise rotation angle value obtained with the smallest error in the roll axis of 0.55 % and for anti-clockwise rotation angle value obtained with the smallest error in the yaw axis of 0.39 %. The result of the best distance with the smallest error is on the y axis with an error of 1.37 %.

Kata kunci : gyroscope, accelerometer, mikrokontroler ATmega32, YS – 1020UA.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peranan elektronika di segala bidang menjadi semakin besar di abad ke-21 ini. Bermula dari penerapan rangkaian elektronika analog, kemudian digital dan kini hampir semua peralatan menggunakan sistem mikroprosesor.

Pada tugas akhir ini mikroprosesor digunakan untuk melakukan akuisisi data rotasi dan translasi dengan memanfaatkan sensor *gyroscope* dan sensor *accelerometer* yang dijual bebas dipasaran. Banyak sekali sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi besaran sudut rotasi dan gerak translasi, namun pada tugas akhir ini digunakan sensor *gyroscope* dan *accelerometer*. Hal ini dikarenakan sensor *gyroscope* dan *accelerometer* memiliki kelebihan dibandingkan dengan sensor yang lain yaitu sensor ini tidak bersentuhan langsung secara fisik dengan lingkungan sekitar sehingga sangat cocok digunakan pada benda yang bergerak bebas.

Penentuan besaran sudut rotasi dan translasi dapat dikembangkan menjadi sistem navigasi, yang mana dengan adanya sistem

navigasi ini dapat diketahui keberadaan suatu benda bergerak secara tepat. Sistem navigasi biasa digunakan pada benda yang bergerak bebas seperti *mobile robot*, kendaraan bermotor, roket kendali dan lain-lain.

Mikrokontroler ATmega32 diterapkan sebagai pusat pengolahan data untuk mendeteksi besaran sudut rotasi dan translasi. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki fitur-fitur yang cukup lengkap dan harga yang relatif terjangkau. Selain itu pemrograman mikrokontroler ini lebih fleksibel, yaitu dapat menggunakan bahasa tingkat rendah (*Assembly*) maupun bahasa tingkat tinggi (Bahasa C). Dengan fitur yang lengkap dan bahasa pemrograman yang mudah maka waktu implementasi akan lebih singkat dan penelusuran kesalahan akan menjadi lebih mudah, sehingga pengembangan lebih lanjut akan sangat mungkin dilakukan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mendapatkan data besaran sudut dan posisi dengan menggunakan sensor *gyroscope* dan *accelerometer* berbasis mikrokontroler

ATmega32 dengan transfer data menggunakan *wireless* YS -1020UA.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Pembuatan sistem instrumentasi ini menggunakan 3 buah sensor *gyroscope* yang masing-masing memiliki 1 derajat kebebasan dan 1 buah sensor *accelerometer* dengan 3 derajat kebebasan .
2. Range percepatan yang digunakan sebesar 1,5g
3. Dalam pengujian sistem pendeteksi jarak hanya digunakan untuk jarak arah positif.
4. Perangkat lunak C# 2008 digunakan untuk membuat program monitoring sinyal keluaran sensor *gyroscope* dan *accelerometer*.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega32.
6. Tidak membahas rangkaian internal *wireless* YS – 1020UA
7. Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler adalah *Code Vision AVR*.
8. Bahasa pemrograman pada mikrokontroler ATmega32 menggunakan bahasa C standar ANSI.

II. DASAR TEORI

2.1 Sensor Gyroscope ADXRS150

Secara umum hasil pengukuran kecepatan sudut sebuah benda dengan menggunakan sensor *gyroscope* pada sumbu horisontal dapat dinyatakan dengan persamaan (2.1)

$$\dot{\theta}_T(t) = \dot{\theta}(t) + n(t) + b(t) \dots\dots\dots(1)$$

Sinyal keluaran *gyroscope* secara umum mengandung sinyal kecepatan sudut ($\dot{\theta}(t)$), *random noise* ($n(t)$), dan *noise* karena perubahan temperatur ($b(t)$).

Perubahan besaran sudut diperoleh dengan mengintegalkan persamaan 1. Persamaan perubahan besaran sudut ditulis menjadi persamaan 2.

$$\theta_T(t) = \int (\dot{\theta}(t) + n(t) + b(t))dt \dots\dots\dots(2)$$

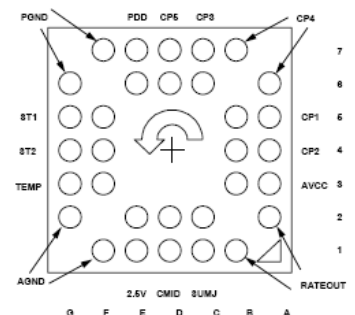
Persamaan 2 dapat ditulis kembali dengan sebuah parameter kalibrasi secara sederhana menjadi persamaan 3

$$\theta_T(t) = K \int (\dot{\theta}(t))dt \dots\dots\dots(3)$$

Gyroscope ADXRS150 dari Analog Device, merupakan *gyroscope* elektrik yang memiliki skala 150 °/s. ADXRS150 merupakan

sensor kecepatan sudut dengan komponen elektronik terintegrasi yang di jual secara komersil. Sensor ini berukuran kecil dengan konsumsi daya rendah dan memiliki ketahanan yang baik terhadap guncangan dan getaran. Sensor ini merupakan terobosan baru yang menggabungkan sistem elektrik dan mekanik atau yang biasa disebut *integrated micro electro-mechanical system* (iMEMS).

Tegangan masukan untuk ADXRS150 adalah tegangan DC 5 volt sedangkan tegangan keluarannya adalah antara 0,25 sampai 4,75 volt. ADXRS150 memiliki sejumlah kaki yang masing-masing memiliki fungsi tertentu. Susunan kaki-kaki ADXRS150 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan kaki ADXRS150

Gyroscope ADXRS150 akan mengeluarkan tegangan yang nilainya sebanding dengan nilai kecepatan sudut, nilai tersebut ditentukan oleh nilai kepekaannya. Nilai kepekaan tersebut memiliki satuan milivolt per derajat per detik (mV/°/s). *Gyroscope* ADXRS150 memiliki nilai kepekaan 12,5 mV/°/s.

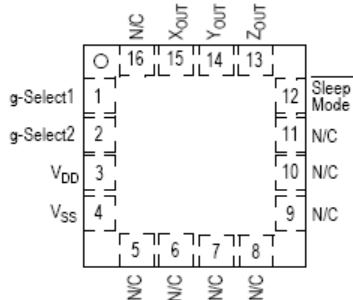
2.2 MMA 7260Q

Sensor *accelerometer* MMA7260Q dengan tiga sumbu pengukuran, yaitu terhadap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Sensor *accelerometer* ini digunakan untuk mengukur percepatan benda dalam satuan gravitasi (g). Untuk memperoleh data jarak dari sensor *accelerometer*, diperlukan proses integral ganda terhadap keluaran sensor. Persamaan untuk mendapatkan posisi dapat dilihat pada persamaan 4.

$$\vec{s} = \int (\int (\vec{a})dt)dt \dots\dots\dots(4)$$

Sensor *accelerometer* dapat mengukur percepatan dari 1,5 g sampai 6 g. Sensor *accelerometer* MMA7260Q dengan

konfigurasi pin nya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi pin-pin *accelerometer* MMA7260Q.

Pada sensor *accelerometer* MMA7260Q ini memiliki fasilitas *g-select* yang-memungkin kan sensor bekerja pada tingkat sensitivitas yang berbeda-beda. Penguatan internal pada sensor akan berubah sesuai dengan tingkat sensitivitas yang dipilih, yaitu 1,5 g, 2 g, 4 g, atau 6 g. Sensivitas *accelerometer* dapat diubah sewaktu-waktu selama *accelerometer* beroperasi. Pemilihan tingkat sensitivitas ini dilakukan dengan memberikan input logika pada pin *g-select1* dan *g-select2* seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Diskripsi tingkat sensitivitas *accelerometer* MMA7260Q

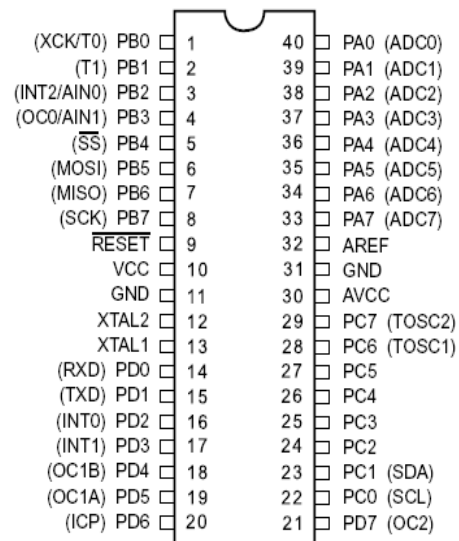
<i>g-select1</i>	<i>g-select2</i>	<i>g-Range</i>	<i>Sensitivity</i>
0	0	1,5 g	800 mV/g
0	1	2 g	600 mV/g
1	0	4 g	300 mV/g
1	1	6 g	200 mV/g

Ketika sensor dalam keadaan diam, keluaran sensor pada sumbu x akan menghasilkan tegangan *offset* yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor (V_{dd}). Tegangan *offset accelerometer* dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Untuk percepatan positif maka sinyal keluaran akan meningkat di atas tegangan *offset*, sedangkan untuk percepatan negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan *offset*. Dengan mode *g-range* 1,5 g, maka tegangan keluaran maksimal sensor dapat dihitung dengan persamaan 5.

$$V_{o \text{ maks}} = V_{\text{offset}} + (\text{percepatan maksimal} \times \text{sensitivitas}) \dots \dots \dots (5)$$

2.3 Mikrokontroler AVR ATmega32

AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register serbaguna, *Timer/Counter* fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt* internal dan eksternal, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan mode *power saving*. Beberapa di antaranya mempunyai ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. Susunan kaki ATmega32 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Susunan kaki ATmega32
Penjelasan dari masing-masing pin adalah sebagai berikut:

- VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
- GND merupakan pin *ground*.
- PortA* (PA7...PA0) merupakan terminal masukan analog menuju *A/D Converter*. *Port* ini juga berfungsi sebagai *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*), jika *A/D Converter* tidak diaktifkan.
- Port B* (PB7...PB0) merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port B* juga dapat berfungsi sebagai terminal khusus yaitu *Timer/Counter*, komparator analog, dan SPI.
- Port C* (PC7..PC0) merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port C* juga dapat berfungsi

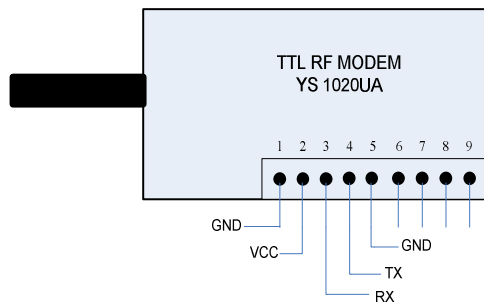
sebagai terminal khusus yaitu komparator analog, dan *Timer Oscillator*.

- f. *Port D* (PD7...PD0) adalah merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port D* juga dapat berfungsi sebagai terminal khusus yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
- g. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
- h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.
- i. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
- j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

2.4 YS – 1020UA

Modul *wireless* YS-1020UA RF data *transceiver* dirancang untuk sistem pengiriman data secara *wireless* dalam jarak yang relative dekat. Modul ini bekerja pada frekuensi ISM, pengiriman dan penerimaan terintegrasi secara *half duplex*.

Dimensi dan definisi antarmuka dari *wireless* YS-1020 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi modul *wireless* YS-1020UA RF Transceiver

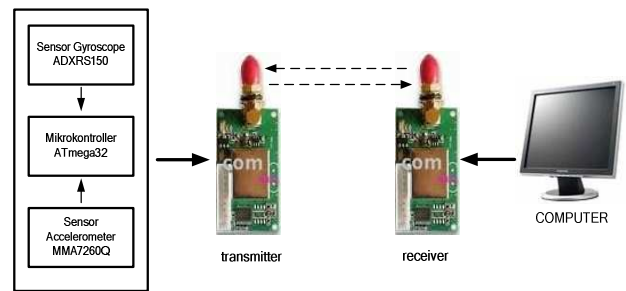
Proses pengiriman dan penerimaan data secara serial *pin 3*(RX) terhubung dengan *pin D1*(TX) dan *pin 4*(TX) terhubung dengan *pin D0* (RX) pada *port D* mikrokontroler ATmega 32. Dalam tugas akhir ini YS-1020 digunakan pada *port.3* dan baud rate 9600 bps.

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras pada alat pendeteksi rotasi dan posisi dengan menggunakan *gyroscope* dan *accelerometer* ini meliputi perancangan sistem minimum mikrokontroler ATmega32, perancangan sensor *gyroscope* ADXRS150 dan sensor *accelerometer*. Secara

umum perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 5.



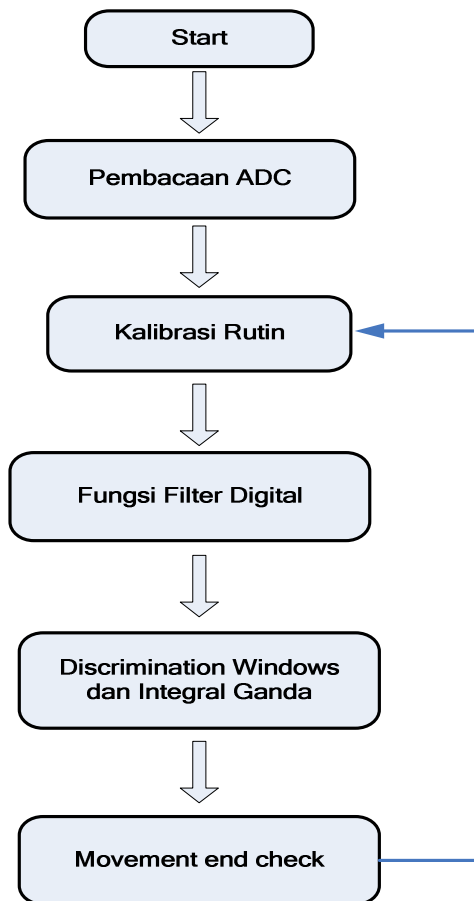
Gambar 5 Diagram blok perancangan pendeteksi rotasi dan posisi dengan menggunakan *gyroscope* dan *accelerometer*.

Penjelasan dari diagram blok sistem pada Gambar 5 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor *gyroscope* ADXRS150 digunakan untuk memperoleh besaran kecepatan sudut dan sensor *accelerometer* MMA7260Q untuk memperoleh posisi jarak.
2. Mikrokontroler ATmega32 digunakan menerima data dari sensor, mengubahnya menjadi data digital dan melakukan komunikasi serial dengan komputer melalui YS – 1020UA.
3. Komputer digunakan untuk mengolah data digital kecepatan sudut menjadi besaran sudut dan percepatan menjadi jarak serta menampilkan kedalam grafik.
4. Transceiver sebagai media transfer data secara *wireless*.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Mikrokontroler ATmega32 digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor *gyroscope* dan *accelerometer*, kemudian mengubahnya menjadi data digital 8 bit dan mengirimkannya ke komputer. Secara umum diagram alir pemrograman pada mikrokontroler ATmega32 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir pemrograman mikrokontroler ATmega32.

A. Pembacaan ADC dan Pengiriman Data Secara Serial.

Proses pembacaan dan pengiriman data dilakukan secara berurutan pada masing-masing sumbu. Pada program pembacaan dan pengiriman data ADC di atas, data yang dibaca oleh ADC dari sensor akan dikirimkan ke komputer melalui *wireless* YS-1020UA setelah mikrokontroler menerima karakter tertentu dari komputer melalui program C#. Mikrokontroler akan mengirimkan data hasil pembacaan posisi x ketika menerima karakter '1'. Demikian pula ketika mikrokontroler menerima karakter '2' maka akan mengirimkan data hasil pembacaan posisi y dan seterusnya.

B. Kalibrasi

Proses ini digunakan untuk menghilangkan komponen *offset* pada data percepatan dari keluaran sensor *accelerometer* MMA7260Q yang disebabkan gravitasi bumi dan kecepatan sudut dari keluaran sensor *gyroscope* ADXRS150. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil rata-rata dari *sample* data ketika kedua sensor dalam keadaan diam. Semakin banyak

sample yang diambil, maka semakin akurat hasil yang didapat. Proses kalibrasi hanya dilakukan pada saat awal program dijalankan.

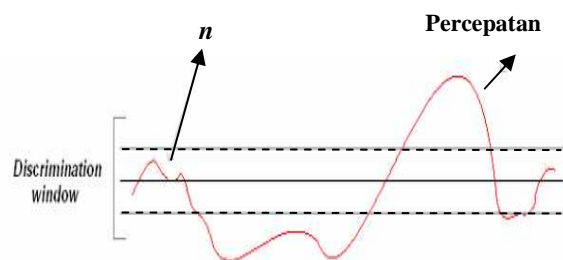
C. Filter LPF Digital

Penggunaan *low pass filter* pada sinyal adalah cara yang sangat baik untuk menghilangkan derau mekanik maupun *elektrik* dari kedua *sensor*. Mengurangi derau pada aplikasi yang berhubungan dengan posisi sangat penting untuk mengurangi *error* pada saat mengintegrasikan sinyal percepatan dari *accelerometer* dan sinyal kecepatan sudut dari *gyroscope*. Cara yang paling mudah untuk melakukan *low pass filter* secara digital adalah dengan melakukan apa yang disebut dengan rata-rata bergerak (*rolling average*) sehingga percepatan dan kecepatan sudut sesaat direpresentasikan dengan rata-rata dari *sample*.

D. Pemberian Jendela Pembatas (*Discrimination Window*)

Meskipun sudah melalui *filter* LPF digital, data dari ADC masih terdapat kemungkinan mengandung *error* akibat derau mekanik. Derau mekanik ini terjadi pada *micromachine*, yang antara lain disebabkan oleh *vibrasi* mekanik dan pergerakan elektron. Ketika sensor dalam kondisi tidak bergerak sejumlah *error* kecil masih tampak pada sinyal keluaran sehingga nantinya sejumlah *error* tersebut akan dijumlahkan.

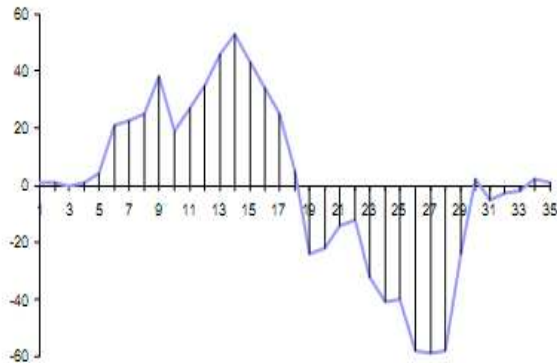
Pada kondisi ideal, ketika sensor dalam kondisi tidak bergerak maka sinyal keluaran akan konstan pada tegangan *offset*. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang dapat mengasumsikan sejumlah *error* kecil tadi sebagai tegangan *offset* yang konstan. Metode tersebut disebut dengan *filtering window* atau *discrimination window*. Dengan adanya *discrimination window* maka daerah yang terletak antara data yang valid dengan data yang tidak valid akan mendapatkan perlakuan khusus. Penerapan *discrimination window* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Metode *discrimination window* untuk sinyal keluaran sensor

E. Pengecekan Akhir Pergerakan (Movement End Check)

Gambar respon *accelerometer* yang berbentuk sinusoida dapat dilihat pada Gambar 8.



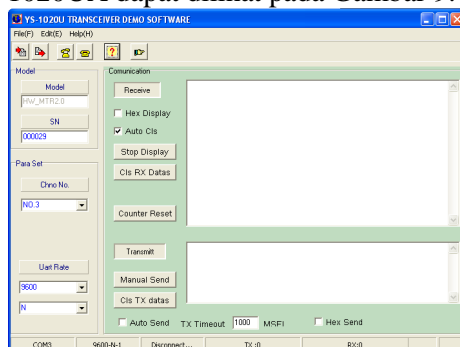
Gambar 8. Respon *accelerometer* pada satu sumbu.

Dari grafik pada Gambar 8 terlihat bahwa pada awalnya benda bergerak, kemudian benda mencapai kecepatan maksimal (saat percepatan kembali ke titik nol). Setelah itu, percepatan mengalami penurunan ke arah yang berlawanan sampai mencapai titik nol kembali. Saat mencapai titik nol inilah akan diketahui posisi baru benda.

Dalam kenyataannya daerah diatas dan dibawah tidaklah sama, sehingga menyebabkan hasil integral percepatan tidak akan mencapai nilai nol (kecepatan = 0) yang akan mengakibatkan hasil integral tidak pernah stabil. Karena itu diperlukan algoritma yang dapat memaksa kecepatan agar bernilai nol. Hal ini dapat dicapai dengan membaca percepatan secara terus menerus dan membandingkannya dengan nilai nol (nilai *offset*). Jika kondisi ini dapat terdeteksi melalui beberapa *sample*, maka kecepatan dapat dianggap nol .

Setting wireless YS-1020UA

Tranceiver wireless YS-1020 pada tugas akhir ini menggunakan channel no.3 dan port rate 9600 bps. Untuk pengaturannya transceiver wireless YS-1020UA dapat dilihat pada Gambar 9.



. Gambar 9. Setting port wireless YS-1020UA

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Karakteristik Gyroscope ADXRS150

Pada pengujian karakteristik *gyroscope* ADXRS150 dilakukan pengujian tegangan *offset* dan pengujian respon keluaran sensor. Pengujian tegangan *offset* dilakukan dengan cara mengukur tegangan *offset* menggunakan multimeter.

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan *offset sensor Gyroscope*

No.	V _{offset} Poros roll (volt)	V _{offset} Poros pitch (volt)	V _{offset} Poros yaw (volt)
1	2,50	2,31	2,47
2	2,50	2,31	2,47
3	2,50	2,31	2,47
4	2,50	2,31	2,47
5	2,50	2,31	2,47
6	2,50	2,31	2,47
7	2,50	2,31	2,47
8	2,50	2,31	2,47
9	2,50	2,31	2,47
10	2,50	2,31	2,47
Jumlah	25	23,1	24,7
Rata-rata	2,50	2,31	2,47

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan *offset* rata-rata untuk poros *roll* sebesar 2.50, poros *pitch* sebesar 2,31 dan poros *yaw* sebesar 2,47. Tegangan *offset* rata-rata sumbu x dan sumbu z sudah sesuai dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 2,5 volt, sedangkan pada sumbu y terdapat selisih tegangan dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 0,19 volt.

4.1.2 Karakteristik Accelerometer MMA7260Q

Pada pengujian karakteristik *accelerometer* MMA7260Q dilakukan pengujian tegangan *offset* dan pengujian respon keluaran sensor. Pengujian tegangan *offset* dilakukan dengan cara mengukur tegangan *offset* menggunakan multimeter.

Tabel 3. Hasil pengujian tegangan *offset sensor Accelerometer*.

No.	V _{offset} Sumbu X (volt)	V _{offset} Sumbu Y (volt)	V _{offset} Sumbu Z (volt)
1	1,61	1,78	1,62
2	1,61	1,78	1,62
3	1,61	1,78	1,62
4	1,61	1,78	1,61
5	1,61	1,78	1,61
6	1,61	1,78	1,61
7	1,61	1,78	1,61

Tabel 3. Hasil pengujian tegangan *offset sensor Accelerometer* (lanjutan).

No.	V _{offset} Sumbu X (volt)	V _{offset} Sumbu Y (volt)	V _{offset} Sumbu Z (volt)
8	1,61	1,78	1,61
9	1,61	1,78	1,61
10	1,61	1,78	1,61
Jumlah	16,1	17,8	16,1
Rata-rata	1,61	1,78	1,61

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa tegangan *offset* rata-rata untuk sumbu x sebesar 1,61, sumbu y sebesar 1,78 dan sumbu z sebesar 1,61. Pengujian tegangan *offset* sumbu z dilakukan tanpa adanya pengaruh grafitasi. Tegangan *offset* rata-rata sumbu x dan sumbu z sudah sesuai dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 1,61 volt, sedangkan pada sumbu y terdapat selisih tegangan dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 0,13 V.

4.2 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian sudut dilakukan dengan menerapkan faktor kalibrasi yang didapat sebelumnya. Hasil pengujian yang didapat kemudian dibandingkan dengan sudut sebenarnya sehingga didapat besaran *error*.

4.2.1 Penentuan faktor kalibrasi sensor gyroscope.

A. Poros Roll.

Tabel 4. Hasil penentuan faktor kalibrasi poros *roll* untuk putaran searah jarum jam

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	358,43	90	0,251104957
2	728,73	180	0,247034178
3	1081,37	270	0,249290402
4	1452,12	360	0,248054130
Kalibrasi rata-rata			0,248870917

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sudut poros *roll* untuk putaran searah jarum jam 0,248870917, sedangkan putaran berlawanan arah jarum jam dengan proses yang sama sebesar 0,266243928.

B. Poros Pitch.

Tabel 5. Hasil penentuan faktor kalibrasi poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam.

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	380,47	90	0,259939872
2	763,04	180	0,235890095
3	114,19	270	0,236447129
4	152,02	360	0,236824693
Kalibrasi rata-rata			0,242275447

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sudut poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam 0,242275447, sedangkan putaran berlawanan arah jarum jam dengan proses yang sama sebesar 0,262436231.

C. Poros Yaw.

Tabel 6. Hasil penentuan faktor kalibrasi poros *yaw* untuk putaran searah jarum jam.

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	319,97	90	0,281391762
2	715,71	180	0,281100234
3	958,79	270	0,281864657
4	1277,52	360	0,281965416
Kalibrasi rata-rata			0,281580517

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sudut poros *yaw* untuk putaran searah jarum jam 0,281580517, sedangkan putaran berlawanan arah jarum jam dengan proses yang sama sebesar 0,271602422

4.2.2. Penentuan faktor kalibrasi sensor accelerometer

A. Sumbu x.

Tabel 7. Hasil penentuan kalibrasi sumbu x positif.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1	230,01	30	0,130805109
2	445,91	60	0,134725126
3	696,26	90	0,129718695
Kalibrasi rata-rata			0,131749643

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sumbu x positif 0,131749643.

B. Sumbu y.

Tabel 8. Hasil penentuan kalibrasi sumbu y positif.

No	Sudut tercatat (cm)	Sudut sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1	221,06	30	0,133203
2	465,86	60	0,135147
3	644,39	90	0,141137
Kalibrasi rata-rata			0,135488

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sumbu x positif 0,135488.

C. Sumbu z.

Tabel 9. Hasil penentuan kalibrasi sumbu z positif.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1	304,09	30	0,098811491

Tabel 9. Hasil penentuan kalibrasi sumbu z positif

2	614,69	60	0,097706812
3	909,585	90	0,099011555
Kalibrasi rata-rata			0,098509953

Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa faktor kalibrasi rata-rata untuk sumbu z positif 0,098509953.

4.2.3 Pengujian Sudut Gyroscope

A. Pengujian Poros Roll

Tabel 10. Hasil pengujian sudut poros roll untuk putaran searah jarum jam.

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	90,86	90	0,86	0,96
2	179,84	180	0,13	0,07
3	271,19	270	1,19	0,44
4	361,71	360	2,65	0,73
Error rata-rata			1,21	0,55

Dari Tabel 10 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada poros roll untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,55 % dengan *error* sudut 1,21° sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 0,54 % dengan *error* sudut 1,34°.

B. Pengujian Poros Pitch

Tabel 11. Hasil pengujian sudut poros pitch untuk putaran searah jarum jam.

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	90,75	90	0,75	0,83
2	182,46	180	2,46	1,36
3	270,80	270	0,80	0,29
4	362,07	360	2,07	0,57
Error rata-rata			1,52	0,76

Dari Tabel 11 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada poros pitch untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,76 % dengan *error* sudut 1,52° sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 0,59 % dengan *error* sudut 0,79°.

C. Pengujian Poros Yaw

Tabel 12. Hasil pengujian sudut poros yaw untuk putaran searah jarum jam.

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	90,56	90	1,28	1,42
2	180,12	180	0,12	0,13
3	271,89	270	1,89	0,70
4	359,56	360	2,94	0,81
Error rata-rata			0,08	0,77

Dari Tabel 12 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada poros yaw untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,77% dengan *error* sudut 0,08° sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 0,39 % dengan *error* sudut 0,56°.

4.2.4. Pengujian Jarak Accelerometer

A. Pengujian sumbu X Postif.

Tabel 13. Hasil pengujian jarak sumbu x positif.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1	30,38	30	0,38	1,28
2	60,90	60	0,90	1,50
3	91,94	90	1,94	2,15
Error rata-rata			1,07	1,64

Dari Tabel 13 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada sumbu x sebesar 1,64 % dengan *error* jarak rata – rata 1,07 cm.

B. Pengujian Sumbu Y.

Tabel 14. Hasil pengujian jarak sumbu y positif.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1	30,19	30	0,19	0,63
2	61,36	60	1,36	2,27
3	91,09	90	1,09	1,21
Error rata-rata			0,88	1,37

Dari Tabel 14 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada sumbu y sebesar 1,37 % dengan *error* jarak rata – rata 0,88 cm.

C. Pengujian Sumbu Z.

Tabel 15. Hasil pengujian jarak sumbu z positif.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1	31,55	30	1,55	5,16
2	60,69	60	0,69	1,15
4	88,32	90	1,67	1,85
Error rata-rata			1,30	2,72

Dari Tabel 15 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada sumbu z sebesar 2,72% dengan *error* jarak rata – rata 1,30 cm.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil sudut terbaik pada poros *roll* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil dengan *error* sebesar 0,55 %, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah dengan *error* sebesar 0,54 %.
2. Hasil sudut terbaik pada poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan *error* sebesar 0,76%, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan *error* sebesar 0,59 %.
3. Hasil sudut terbaik pada poros *yaw* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan *error* sebesar 0,77%, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan *error* sebesar 0,39%.
4. Hasil jarak terbaik pada sumbu x pada arah positif adalah hasil dengan *error* sebesar 1,64%.
5. Hasil jarak terbaik pada sumbu y pada arah positif adalah hasil dengan *error* sebesar 1,37 %.
6. Hasil jarak terbaik pada sumbu z pada arah positif adalah hasil dengan *error* sebesar 2,72 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Groothuis, S., "Self-Balancing Robot 'Dirk'", Control Engineering University of Twente, Juni 2008.
- [2] Hartanto, Budi, Memahami Visual C# Net Secara Mudah, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3] Heryanto, M.Ary dan Wianu Adi P., Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontroller ATMEGA8535, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [4] Joni, I Made dan Budi Raharjo, Pemrograman C dan Implementasinya, Penerbit Informatika, Bandung, 2006.
- [5] Seifert, K. dan Camacho, O., "Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers", Freescale Semiconductor, 2007.
- [6] Sudjadi., *Teori dan Aplikasi Mikrokontroler Aplikasi pada Mikrokontroler AT89C51*, Graha Ilmu, Semarang, 2005.

- [7] Widada, W., "Aplikasi Digital Exponential Filtering untuk Embedded Sensor Payload Roket", Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, 2005.
- [8] -----, *ATmega 8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Maret 2004.
- [9] -----, *ADXR5150 Data Sheet*, <http://www.analog.com>, Maret 2004.
- [10] -----, *KIA78R33API Data Sheet*, <http://www.datasheetcatalog.com>, Maret 2004.
- [11] -----, *MMA7260Q Data Sheet*, <http://www.freescale.com>, April 2008
- [12] -----, *New iMEMS Angular-Rate-Sensing Gyroscope*, <http://www.analog.com>, 2003.
- [13] -----, *Using Absolute Output iMEMS® Gyroscopes with Ratiometric ADCs*, <http://www.analog.com>, 2005.

Ruslan Gani (L2F 005 577)



Lahir di Koto Kecil, 07 Januari 1987. Saat ini sedang menyelesaikan studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Konsentrasi Kontrol.

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Wahyudi, S.T., M.T.
NIP.196906121994031001
Tanggal: _____

Iwan Setiawan, ST.M.T.
NIP.197309262000121001
Tanggal: _____